

**Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба**



**КАФЕДРА АЕРОДИНАМІКИ ТА ДИНАМІКИ
ПОЛЬОТУ**

Загальне знання повітряних суден

Лекція № 4

Харків - 2016

ПАЛИВНІ СИСТЕМИ

Маса палива на сучасних літаках та вертольотах може становити 30...50% від злітної маси.

Розміщення такої кількості палива, забезпечення необхідного центрування при виробітку палива, невеликого часу заправки вимагає застосування цілого ряду спеціальних пристроїв, агрегатів, обладнання.

Навчальні питання:

- 1. Призначення і загальна характеристика паливних систем.**

Паливна система (ПС) являє собою комплекс обладнання, призначеного для розміщення на борту необхідного запасу палива та забезпечення безперебійної його подачі до двигунів при будь-яких можливих для даного ЛА умовах та режимах польоту.

Паливні системи повинні забезпечувати:

1. Розміщення необхідної кількості палива.

Ємність літакових (вертолітних) баків може досягати

100 м³ і більше. Звичайно паливні баки розташовуються у фюзеляжі, крилах, оперенні, в підвісних баках або в баках, що встановлюються у вантажній кабіні.

2. Надійне живлення двигунів паливом при будь яких режимах їх роботи та положеннях ЛА у просторі, незалежно від висоти польоту, перевантажень та кількості палива в баках.

3. Автоматичне підтримування центрування ЛА в заданих межах в процесі виробітку та заправки.

Іноді перекачка палива використовується для зміни центрування з метою збереження постійного запасу поздовжньої статичної стійкості при переході від дозвукових швидкостей польоту до надзвукові та навпаки.

4. Повне вироблення палива зі всіх баків.

Згідно ЗТВ (загальні технічні вимоги) невиробляємий залишок палива не повинен перевищувати:

0,8% - в фюзеляжних баках;

1,5% - в крилових баках;

3,0% - в підвісних баках.

- 5. Надійне очищення палива від домішок.**
- 6. Можливість застосування різних марок палива.**

На сучасних ЛА з турбореактивними двигунами в якості палива використовують *авіаційний гас* марок **T-1, TC-1, PT, T-5, T-7** та ін.

- 7. Високу бойову живучість, яка досягається протектуванням баків, дублюванням найбільш важливих агрегатів та ін.**

- 8. Високу протипожежну безпеку.**
- 9. Контроль справності та можливість керування системою на землі та в повітрі (повинні мати системи вбудованого контролю, індикацію кількості палива в системі та інш.).**
- 10. Заданий час заправки системи паливом на землі та у повітрі.**

Паливна система ЛА включає:

- систему живлення двигунів;
- систему керування порядком вироботки палива;
- систему дренажу та наддування паливних баків;
- систему заправки;
- систему нормального та аварійного зливання палива;
- систему контролю за роботою та залишком палива
(сигналізація про відмови окремих агрегатів, паливоміри, витратоміри, сигналізація аварійного залишку тощо).

2. Принципи побудови та роботи паливних систем

Принципами, що визначають побудову паливних систем являються:

- **функціональні принципи**, які визначають нормальне функціонування системи при її мінімальній масі;
- **експлуатаційні принципи**, які визначають можливість роботи системи на протязі ресурсу, що вимагається в заданих умовах;
- **принципи надійності**, які забезпечують збереження в процесі експлуатації необхідного рівня надійності.

3. Системи живлення двигунів паливом

Схеми систем живлення двигунів паливом визначаються *кількістю паливних баків, двигунів та їх компоновкою на ЛА.*

За способом подачі палива до двигунів відрізняють:

а) систему з подачею палива самопливом.

Дані системи застосовуються на неманевренних невисотних ЛА як основні, а також як аварійні на більшості ЛА.

б) системи з витисненням палива стисненим газом.

Для подачі палива безпосередньо до двигунів на пілотованих ЛА застосовуються рідко, однак широко використовуються для виробітки палива з підвісних баків, крилових або фюзеляжних баків.

в) системи з підкачувальними насосами.

Отримали найбільше розповсюдження на сучасних літаках та вертольотах.

В якості підкачувальних насосів використовуються звичайно відцентрові насоси з приводом від електродвигуна, газової або рідинної турбіни. Вони розміщуються, як правило, безпосередньо у баках.

На сучасних ЛА стали використовуватись струминні насоси.

В залежності від послідовності виробітку палива розрізняють системи живлення з послідовним або паралельним виробітком.

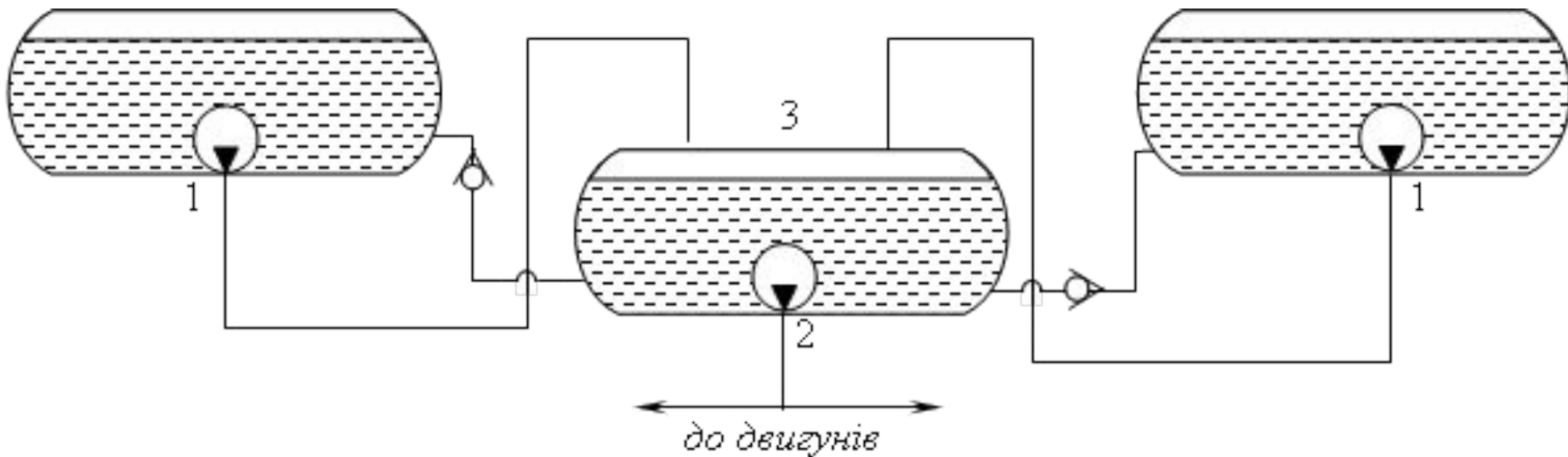
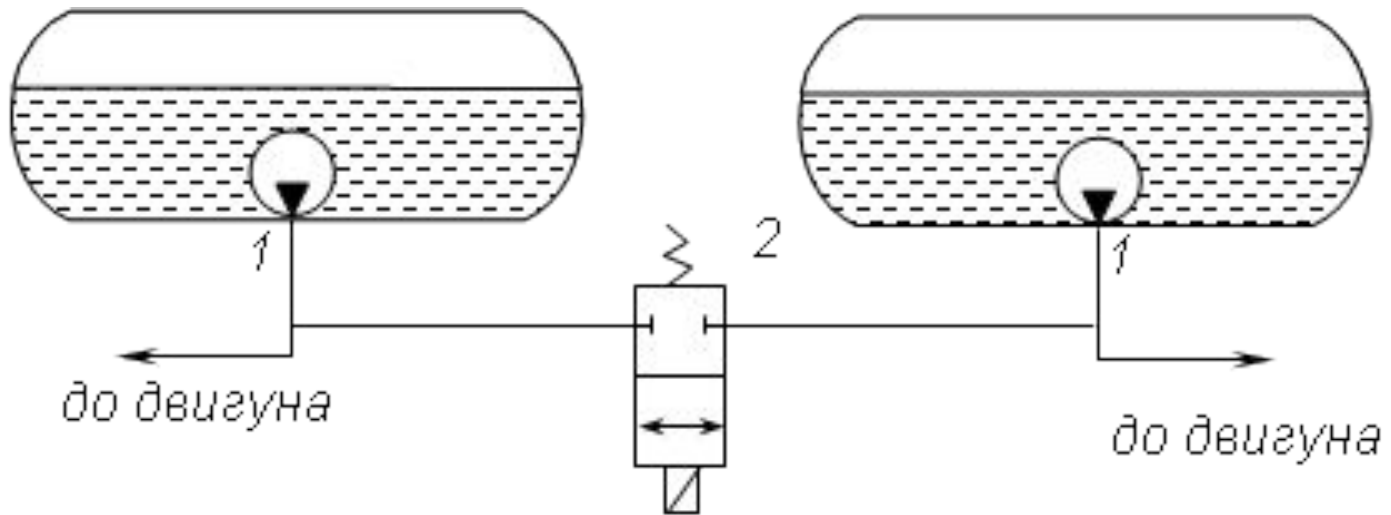


Рис. – Послідовний виробіток пального:
1 - перекачувальний насос;
2 - підкачувальний насос; 3 - витратний бак.

Переваги такої системи:

- **система отримується легша** (потрібен тільки один підкачувальний насос, перекачувальні насоси можуть мати невелику продуктивність, їх можна виготовляти більш легкими);
- **необхідна тільки одна система забезпечення подачі палива до двигунів при від'ємних та нульових перевантаженнях ;**
- **має підвищену живучість** (при виході зі строю будь якого бака, крім витратного забезпечується нормальне живлення двигунів (втрата бак при цьому повинен бути підвищеної живучості);
- **по мірі виробітку палива центрування ЛА змінюється в невеликих межах.**

Системи з роздільним живленням двигунів (паралельний виробіток)



- 1- підкачувальний насос;**
- 2- кран кільцювання.**

Забезпечення працездатності паливної системи при низьких та високих температурах

В процесі експлуатації ЛА можлива робота паливної системи як при дуже низькій (до -60°C) , так і при дуже високій температурі (до $+50^{\circ}\text{C}$)

Кристали льоду, що утворилися, блокують паливні фільтри, закупорюють жиклери паливної автоматики.

В результаті збільшується гідравлічний опір паливних магістралей. Низькі температури приводять до підвищення в'язкості палива.

Для запобігання шкідливих наслідків низьких температур в паливо добавляють присадки (рідина "І"), що знижують температуру кристалоутворення;

передбачають підігрів палива перед подачею його у фільтри;

застосовують в конструкції паливної системи відстійники для осушення води.

Нагрів палива виникає

- **від місцевого нагріву планера від двигунів,**
- **внаслідок аеродинамічного нагріву примежового шару повітря при надзвуковому польоті, особливо на малих висотах**

(так, при $M = 2,5$ температура стінок паливних баків досягає $150...200^{\circ}\text{C}$).

Шкідливими наслідками

великої температури палива є:

- **різке збільшення тиску насиченої пари p_t палива та зниження висотності паливної системи;**
- **виділення смолистих та нерозчинних осадків, що приводять до забивання фільтрів, зниження ефективності теплообмінних пристроїв;**
- **самозагорання палива (при $t = 350...500^\circ\text{C}$);**
- **збільшення втрат палива внаслідок його випаровування;**
- **порушення ущільнень елементів паливної системи.**

Застосовуються наступні засоби боротьби з нагрівом палива:

- **використання теплозахисту;**
- **організація оптимального порядку виробітку палива з баків (послідовна краще, ніж паралельна).**

4. Системи керування порядком виробітки

Ці системи автоматичні (без втручання екіпажу) забезпечують заданий діапазон центрувань за рахунок чітко визначеної послідовності, виробітки палива з різних баків.

В теперішній час на ЛА знаходять застосування:

- системи з перепускними клапанами;**
- системи з багаторежимними (керівними) насосами;**
- системи зі зливними магістралями.**

5 Системи дренажу і наддування паливних баків

Система наддування та дренажу призначена для підтримання у надпаливному просторі баків необхідного тиску з метою забезпечення необхідної висотності паливної системи.

Вона також забезпечує дренаж (з'єднання з атмосферою) надпаливного простору при заправці баків та зливанні пального на землі.

На ряді ЛА система наддування забезпечує виробіток (витиснення) пального з деяких баків.

В залежності від джерела енергії, що використовується, бувають системи

- **відкриті,**
наддування баків здійснюється тільки за рахунок енергії швидкісного напору
- **закриті,**
наддування здійснюється повітрям, яке забирається від компресора двигуна або газом зі спеціальних балонів
- **комбіновані.**

При відмовах системи наддування паливного бака льотчику рекомендується зменшити висоту польоту та не створювати різких маневрів для запобігання зупинки двигуна.

6. Системи заправки паливом

Існують два основних способи заправки систем паливом:

- **відкрита заправка**, коли кожен бак заправляється через свою заливну горловину;
- **централізована (закрита) заправка**.

Згідно загальним технічним вимогам усі ЛА при сумарному об'ємові паливних баків більше 5 м³ (5000 л) повинні бути обладнаними **централізованою заправкою**.

Централізована заправка забезпечує більш високу чистоту та у **3...5** раз скорочує час заправки.





**Полная вместимость топливных баков самолета – 7080 л,
а эксплуатационная заправка топлива с учетом недозаправки 3 %
объема баков на температурное расширение топлива составляет 6880 л.**

Система централізованої заправки повинна забезпечувати:

- **одночасне** закінчення заправки усіх баків (при цьому час заправки отримується мінімальним);
- **надійне обмеження** рівня пального у баках при заправці (паливо подається в систему з тиском 0,2...0,5 МПа (2...5 кг/см²) при цьому при несвоєчасному припиненні подачі пального можливе руйнування баків);
- **збереження центрування** ЛА в необхідних межах.

Наявність системи централізованої заправки дозволяє виконувати заправку ЛА **у повітрі.**

Дозаправлення у повітрі дозволяє:

- **значно збільшити час польоту та дальність;**
- **зменшити довжину розбігу (при злеті з неповною заправкою з наступним дозаправленням у повітрі зразу після злету) або збільшити масу корисного навантаження.**

Основні вимоги до системи дозаправлення паливом у польоті:

- **мінімальний час дозаправлення;**
- **широкий діапазон висот та швидкостей, при яких можлива дозаправлення;**
- **висока автоматизація процесу;**
- **висока безпека польоту;**
- **достатня пожежебезпека.**

7. Системи аварійного зливу

Система аварійного зливу пального забезпечує:

- розвантаження ЛА до посадочної маси у випадку необхідності здійснення посадки зразу після зльоту;**
- усунення моментів крену або тангажу при несиметричному виробітку пального.**

- **високий темп зливу (700...1200 л/хв.);**
- **повний, частковий або роздільний злив пального з основних груп баків;**
- **виключення можливості потрапляння пального, що зливається у повітряні забірники або відсіки двигунів;**
- **автоматичне припинення зливу при аварійному залишку**

Аварійний злив здійснюється через дистанційно керовані крани самопливом, за рахунок тиску наддування або підкачувальних (перекачувальних) насосів.

8. Конструкція і робота основних агрегатів паливних систем

Паливні баки призначені для розміщення необхідного запасу пального.

На сучасних ЛА застосовують:

- жорсткі баки:
- м'які баки:
- герметичні баки відсіки:
- підвісні баки.

Жорсткі баки виготовляються з алюмінієво-марганцевих сплавів **АМц, АМцМ, АМцП, які допускають глибоку штамповку, добре зварюються та стійкі до корозії.**

Товщина стінок баків складає **0,5...2 мм та, як правило, залежить від розмірів баків.**

Такі баки звичайно встановлюються в зонах підвищених температур.

До недоліків таких баків відноситься чуттєвість до вібрацій (можлива поява тріщин), підвищена маса (такі баки не включаються у силову схему), а також невисока їх ремонтопридатність.

М'які баки мають високу технологічність, ремонтпридатність, не чуттєві до вібрацій, однак мають обмежений термін служби.

Виготовляються м'які баки з декількох шарів гасостійкої гуми товщиною $\delta=0,5...0,8$ мм. Силовий каркас бака складають шари прогумованої тканини (корд).

Витратні баки ЛА часто виготовляють протектованими шаром натурального каучуку або спеціальної губки товщиною 5...15 мм. Цей шар при потраплянні на нього гасу (у випадку пошкодження бака) набухає, чим усувається витікання палива з баку при незначному пошкодженні.



Рис. 11.16

Герметичні баки-відсіки являються найбільш раціональними з точки зору маси конструкції та використання внутрішніх об'ємів. Крім того, наявність пального в середині конструкції служить свого роду сигналізатором появи тріщин втомленості.

До недоліків таких баків слід віднести:

- низьку ремонтопридатність;
- відсутність теплової ізоляції палива.

Підвісні баки дозволяють збільшувати дальність польоту, хоча негативно впливають на маневреність та максимальну швидкість.

Звичайно після виробітку пального в бойовій обстановці підвісні баки скидаються.

Ємкості підвісних баків змінюються у широких межах (для різних ЛА) і складають **300...5000л.**

Виготовляються частіше всього у вигляді добре обтічних оболонок обертання з алюмінієвих сплавів. Складається з обшивки та силового каркасу у вигляді діафрагм, балок, стійок.

Навантажуються паливні баки **масовими** силами пального **та тиском** наддування.

При великих ємкостях баків значними можуть бути навантаження обумовлені **коливаннями пального**.

Для зменшення цих навантажень у баках встановлюють **перегородки**.

При швидкому опусканні та відмові дренажної системи можлива поява від'ємного надлишкового тиску (зворотного перепаду). Таке навантаження може привести до втрати стійкості (зминання) паливних баків.

Відцентрові насоси звичайно мають привід від електродвигуна (ЕВН), газових або гідравлічних турбін (ТН, ГТН).

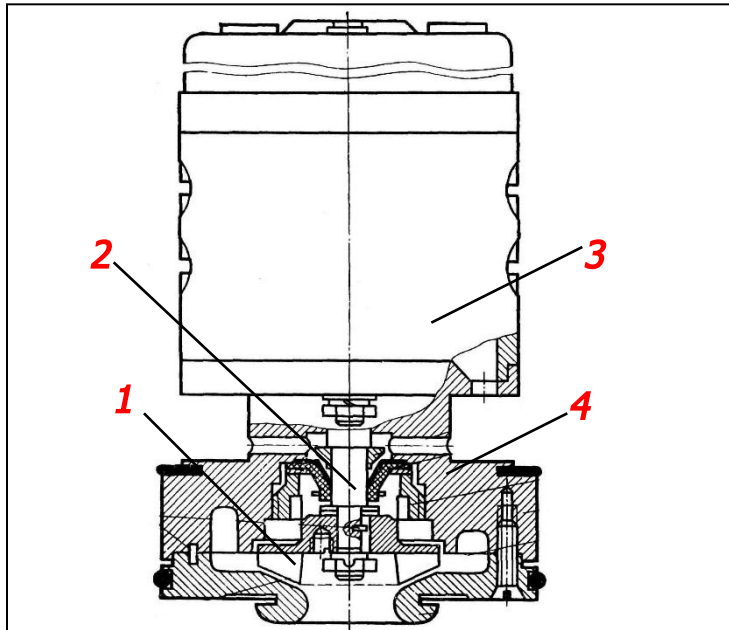


Рис. 11.17.
Електровідцентровий насос типу "ЭЦН":

1 – крильчатка; 2 – вал;
3 – електродвигун; 4 – корпус

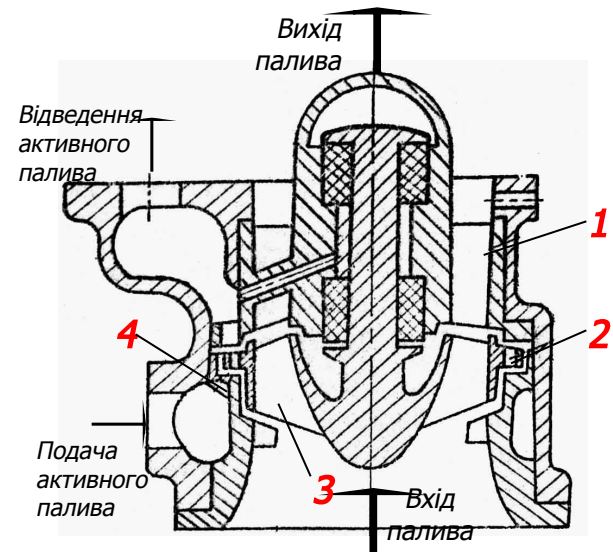


Рис. 11.18 Схема гідротурбонасоса:

1 – направляючий апарат; 2 – турбіна; 3 – насос; 4 – сопловий апарат

Порівняльна характеристика перерахованих насосів

- ЕВН**
- найбільш просто передається енергія приводу,
 - вони можуть працювати при непрацюючому двигуні (від акумулятора),
 - вимагають постійного охолодження (паливом),
 - мають великі маси та габарити (для високошвидкісних ЛА із-за росту температури пального та оточуючої атмосфери).

ТН та ГН

- мають значно більшу, чим у ЕВН вагову віддачу,
- вони малогабаритні та температуростійкі,
- для роботи вони вимагають енергію активного пального.

Струмінні насоси

- **забезпечують повне опорожнення баків та більші розходи,**
- **мають невеликі вихідні ТИСКИ.**